

***MEMORIA:***

***Proyecto de intervención Invernadero de Exhibición (Real Jardín Botánico Madrid)***

***-Análisis y modificación de los materiales del edificio  
para la mejora de su ciclo de vida-***

***Grupo 11***

***Macarena Prieto // Ana Alicia Rodríguez***

**MEMORIA:**  
**Proyecto de intervención Invernadero de Exhibición (Real Jardín Botánico Madrid)**  
**-Propuesta. Comparativa con materiales alternativos-**

Este texto se complementa con las dos últimas láminas de nuestra entrega (adjuntadas abajo) que hablan de la propuesta que queremos llevar a cabo en el invernadero.

La intervención consistirá en una sustitución parcial o total de los materiales preexistentes con el objetivo de poder reducir en lo posible el consumo energético y la huella de CO<sub>2</sub> producidas por el edificio debido a estos materiales, a su procesamiento, a su transporte y su fin de vida.

Para ello, con ayuda del software “CES Edupack 2015” y su herramienta ECOAUDIT hemos podido obtener los cálculos energéticos y de emisiones actuales y en base a ello, con el mismo programa, hemos establecido la siguiente comparativa:

**1. Estructura.**

Obtenemos seis gráficas en las que comparamos diferentes propiedades de los materiales de la base de datos del software, habiendo restringido previamente éstos a materiales de características estructurales y sujetos a un precio igual o menor al actual.

Así, para esta comparativa hemos fijado en el eje Y la tensión a tracción, como propiedad orientativa estructural, y la hemos puesto en relación con propiedades de durabilidad, de producción de CO<sub>2</sub> y consumo energético.

**2. Envolverte.**

Mantenemos las mismas seis gráficas pero la restricción previa selecciona solo materiales de envolvente.

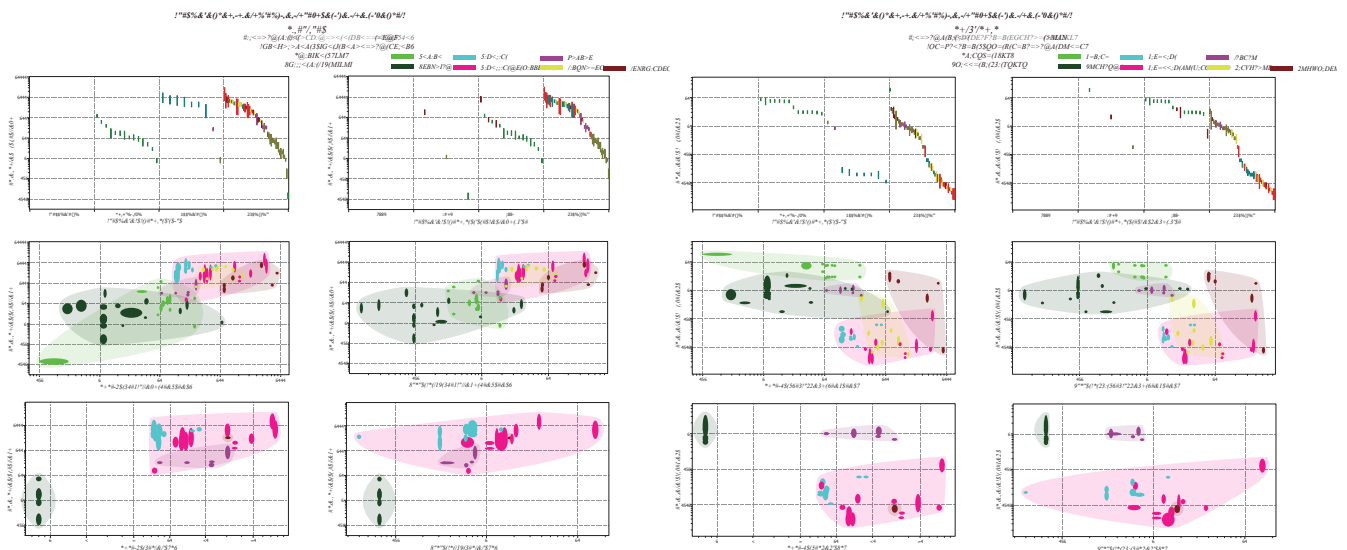
Ahora en el eje Y mantenemos fija la resistividad térmica como propiedad de aislamiento del material y la hemos puesto en relación de nuevo con propiedades de durabilidad, de producción de CO<sub>2</sub> y consumo energético.

**Conclusiones.**

Vemos como en todas estas gráficas se sitúan los materiales utilizados en el edificio y cuales son sus relaciones con los demás en sus diferentes aspectos.

Por ejemplo: En la comparativa de estructura podemos deducir que materiales como la madera pueden llegar a tener una resistencia estructural buena, parecida a la existente, con una producción de CO<sub>2</sub> menor; con un consumo más bajo, pero sin embargo con peor durabilidad pero sin llegar a ser inaceptable.

De la misma forma en la envolvente podemos comparar la resistividad térmica del vidrio con la de materiales como por ejemplo son los polímeros, la cual es superior y presentan una durabilidad igual o mejor.



## MEMORIA:

### Proyecto de intervención Invernadero de Exhibición (Real Jardín Botánico Madrid) -Modificación de los materiales constructivos para la mejora del ciclo de vida del edificio-

Tras el intensivo análisis ya realizado acerca de los materiales constructivos utilizados en el Invernadero de Exhibición del Real Jardín Botánico, analizando propiedades, presupuesto, traslado y ciclo de vida éstos, proponemos intervenir sustituyendo los materiales empleados para la estructura y envolvente del edificio con la intención de mejorar su gasto energético y huella de CO<sub>2</sub>, y viendo que repercusión tendría esto en el presupuesto final.

#### 1. INTERVENCIÓN EN LA ESTRUCTURA PORTANTE

La estructura preexistente está construida con perfilera de Acero S-275. La cuantía de este material en el edificio alcanza prácticamente los 20000kg de masa, y su precio base ascendería a unos 8500€.

Pues bien, con nuestra intervención proponemos introducir una nueva estructura de MADERA LAMINADA DE PINO SILVESTRE GL 24-H (con una resistencia de 24 N/mm<sup>2</sup>), constituida por los siguientes elementos:

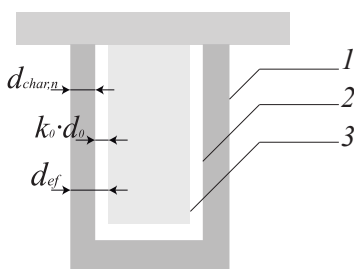
**-Vigas:** inclinadas con un ángulo de 25°, y con dimensiones de 0,48m de canto; 0,30m de espesor; y 9,5m de longitud [9,5x0,48x0,30]. La cuantía de la masa de vigas se acerca a los 13800kg.

**-Pilares:** apoyan sobre el muro exterior de hormigón existente. Sus dimensiones son 0,30x0,20m de sección y 2,15m de altura [2,15x0,30x0,20]. Su masa es de 1000kg aproximadamente.

**-Correas:** apoyan sobre las vigas en un segundo nivel estructural, reparten las cargas y a su vez arriostran la cubierta. Cubren la longitud total del edificio con 52m, con un canto de 0,20m y un espesor de 0,10m. Pesan casi 2500kg y sobre ellas irá colocada la envolvente de cubierta.

De esta manera quedan constituidos los pórticos estructurales, que además irán arriostrados en su lateral (fachada sur) por unas cruces de San Andrés mediante tensores metálicos.

Para el dimensionado de las vigas, se ha calculado mediante su momento máximo y la resistencia característica de la madera. Una vez establecidas las dimensiones  $h$  y  $b$ , hemos incrementado lo solicitado por el cumplimiento del CTE para seguridad contra incendios.



1. Superficie inicial de la viga
2. Límite de la sección residual
3. Límite de la sección eficaz

$$\text{Madera GL 24-h} \longrightarrow \sigma_f = 24 \text{ N/mm}^2 = 2,4 \cdot 10^4 \text{ KN/m}^2$$

$$M_{\text{máx}} = qL^2/8 = \sigma h^2 b/4 \longrightarrow h^2 \cdot b = 4qL^2/8\sigma = 0,048 \text{ m}^3 \begin{cases} h = 0,45 \text{ m} \\ b = 0,24 \text{ m} \end{cases}$$

Tabla E.1. Velocidad de carbonización nominal de cálculo,  $\beta_n$ , de maderas sin protección

	$\beta_n$ (mm/min)
Coníferas y haya	
→ Madera laminada encolada con densidad característica > 290 Kg/m <sup>3</sup>	0,70
Madera maciza con densidad característica > 290 Kg/m <sup>3</sup>	0,80
Frondosas	
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica de 290 Kg/m <sup>3</sup>	0,70
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica > 450 Kg/m <sup>3</sup>	0,55
Madera microlaminada	
Con una densidad característica > 480 Kg/m <sup>3</sup>	0,70

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \longrightarrow d_{ef} = 28 \text{ mm}$$

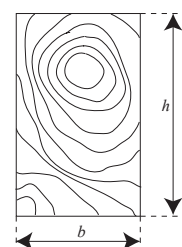
$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,70 \text{ mm/min} \cdot 30 \text{ min} = 21 \text{ mm}$$

$$t = 30 \text{ min}$$

$$h = 0,48 \text{ m}$$

$$b = 0,30 \text{ m}$$



*Para mejorar la durabilidad de la madera, conociendo sus limitaciones en un habiente de invernadero, decidimos aplicarle un tratamiento preventivo contra xilófagos. Así evitaremos que la presencia de vegetación y las extremas temperaturas y humedades relativas que va a soportar este material se vean afectadas por agentes xilófagos como las termitas y otros organismos destructores tales como la carcoma común, los hongos, etc., que ejercen un rol muy importante en la naturaleza – descomponen la madera y otros materiales de las plantas, reciclando los nutrientes y devolviéndolos al entorno de forma que las plantas los usan para desarrollarse. Estos organismos pueden provocar pérdidas económicas significativas, afectar a los árboles, requerir el uso de insecticidas en cantidades importantes y afectar a la vida de las personas.*

*Los organismos más dañinos para las estructuras de madera son las termitas. En importancia le siguen los escarabajos siendo éstos, el grupo de insectos más importante que atacan a la madera. Basándonos en sus hábitos concretos y en los desafíos que presentan para su control, los escarabajos casi podrían encabezar el ranking de los organismos dañinos para las estructuras de madera.*

*No existe un único tratamiento que solucione todos los problemas relacionados con organismos que destruyen la madera. Existen diferentes estrategias de control dependiendo de las distintas plagas que les puedan afectar, de las zonas afectadas por las plagas y de las diferentes posibilidades de tratamiento. Normalmente deberemos usar diferentes herramientas integrándolas de forma que se desarrolle una estrategia sostenible y a largo plazo.*

*La estrategia basada en la Gestión Integrada de Plagas seguirá los siguientes pasos:*

*-Inspección minuciosa. Es muy importante determinar qué tipo de organismo destructor de la madera le afecta. Normalmente realizaremos inspecciones visuales, usaremos trampas, detectores de sonido, medidores de humedad, etc..*

*-Determinar cuáles son las áreas afectadas. Tratar de identificar el origen de la plaga y actuar en consecuencia. Deberemos inspeccionar cualquier zona susceptible de estar afectada así como identificar si existen zonas afectadas y que pudieran necesitar tratamiento (o que tan sólo pudieran controlarse mediante medidas preventivas)*

*-Decidir la mejor estrategia de control priorizando el uso de medidas preventivas o de medidas de exclusión. Existen muchas posibilidades: reducir la humedad, sellar grietas y agujeros, reparar fugas y goteras, asegurar que el agua fluye correctamente en caso de lluvia, etc.*

*-Cuando debe realizarse un tratamiento primero usaremos la estrategia menos peligrosa para la salud de las personas, de la fauna no objetivo y que tenga menor impacto ambiental: uso de trampas, de biocidas biorracionales, estrategias biológicas, y cuando sea necesario, usaremos insecticidas o fungicidas químicos tradicionales.*

*-Realizaremos un informe completo sobre lo que vamos a hacer, cómo y cuándo. Siempre deberemos asegurarnos de que todas las medidas de seguridad se reflejan por escrito y que el cliente las ha comprendido.*

*-Explicaremos correctamente al cliente y en un lenguaje sencillo la estrategia que vamos a utilizar y las ventajas que aporta en relación a otras posibilidades. Formación del cliente.*

*-Finalmente realizaremos inspecciones de control. Nos aseguraremos que la estrategia funciona correctamente y que las plagas están siendo gestionadas de forma adecuada satisfaciendo así, las expectativas de nuestros clientes. Nos aseguraremos de que cualquier medida estructural ha sido implementada, que funciona correctamente y que está bien mantenida.*

## **2. INTERVENCIÓN EN LA ENVOLVENTE**

*El recubrimiento original del edificio, como queda desglosado en el análisis, está constituido por diferentes tipos de vidrio: Armado y laminado. La cuantía de este material asciende a 18000kg de peso y alcanza un presupuesto base de 65500€.*

*En esta intervención proponemos sustituir este recubrimiento por una envolvente de ETFE. Este plástico, empleado hasta ahora en arquitectura, puede ser utilizado también en invernaderos. Las coberturas convencionales de plástico en los invernaderos son degradadas por su exposición a la radiación solar; degradación que se acelera si sumamos la absorción de los productos químicos utilizados en el cultivo de plantas. El impacto ambiental, por tanto, puede reducirse al aumentar la vida útil de los materiales. El ETFE, a cambio del importe adicional que supone al presupuesto de la obra, ofrece una serie de ventajas tales como la durabilidad (calculada en más de 20 años), debida a la estabilidad propia del polímero contra los rayos UV. Además, el material es conocido por su baja reactividad química. Un efecto colateral de su larga duración es la disminución de residuos, aspecto importante por la creciente atención a los métodos de producción sostenible. Otra ventaja del ETFE es que permite sólo una pequeña pérdida de transmitancia de luz PAR (Parabolic Aluminized Reflector) cuando el material está envejecido. En conclusión, la fuerte inversión en este material puede ser beneficiosa si se calcula a largo plazo.*

Para la instalación en la envolvente de ETFE, hemos incluido una estructura de soporte auxiliar de aluminio, muy ligera, de montantes y travesaños colocados sobre la estructura principal. Con ella, modulamos los cojines/paneles en dimensiones fijas que serán un ancho de 2m para la cubierta y fachada principal sur, y de 1,70 para las fachadas laterales y particiones interiores.

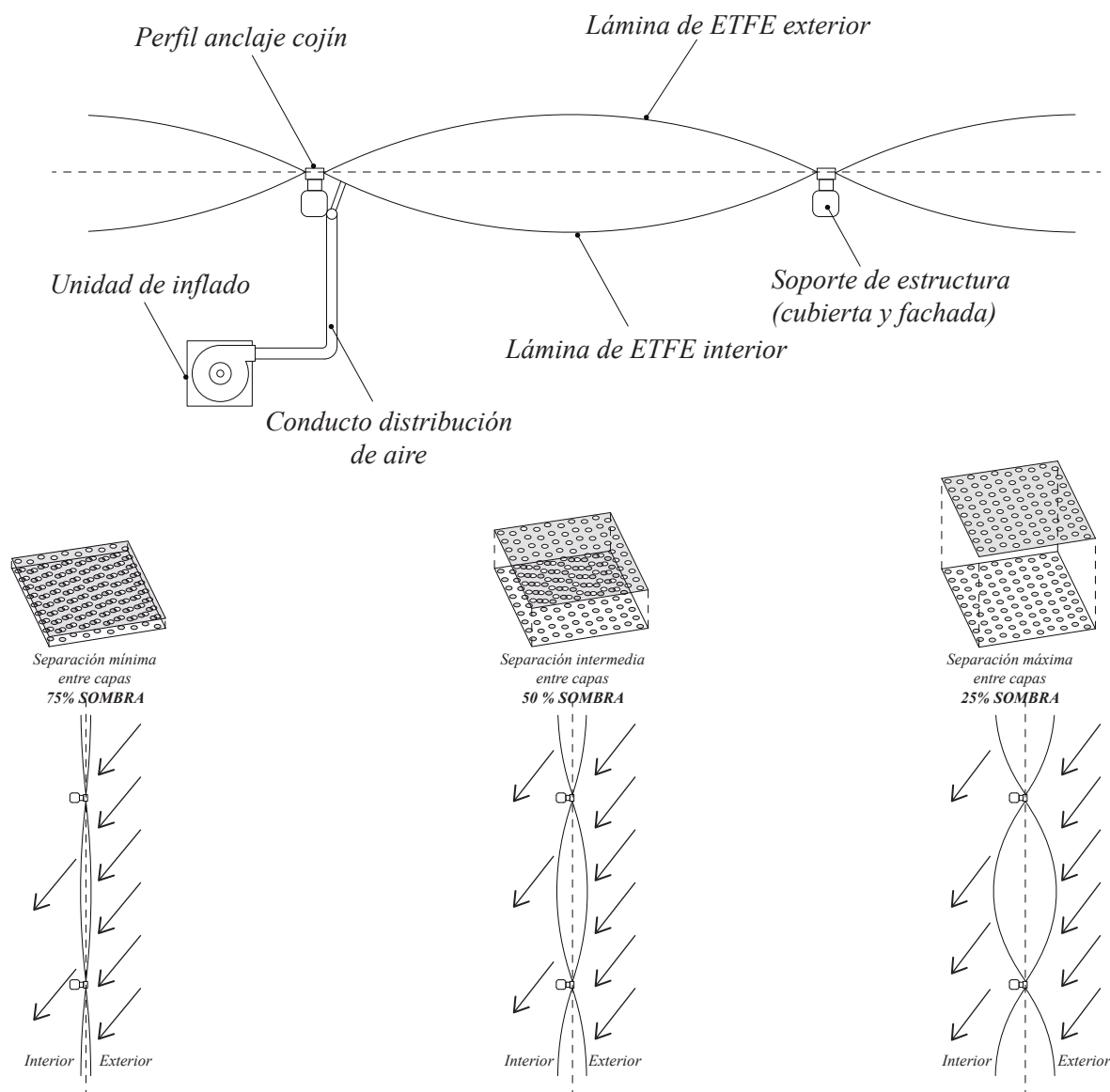
En cuanto al tipo de ETFE, emplearemos dos variantes:

- MONOCAPA: En las particiones interiores y paneles abatibles como las puertas.
- MULTICAPA: En las fachadas exteriores y cubierta

El Etfé Multicapa, como su propio nombre indica, presenta una lámina exterior y otra interior, separadas por una cámara de aire y dando lugar a una especie de cojín. Esta cámara de aire es variable, gracias a la presencia de la unidad de inflado que nos permitirá hinchar los cojines a demanda del usuario. La modificación de la sección de los cojines tiene dos ventajas principales:

-Por una parte, nos permite regular el grado de aislamiento requerido en el espacio interior. Cuanto más aire contenga la cámara, mayor será la resistencia térmica de la envolvente. De esta manera, podremos utilizar los cojines desinflados en las horas del día más cálidas para mayor captación de calor e inflarlos en las horas menos óptimas para que ese calor no se pierda.

-Por otra parte, la variabilidad de la sección de Etfé nos permite adaptar la opacidad del cerramiento, gracias a una trama impresa de llenos y vacíos complementados en las láminas interior y exterior. Así, cuanto menos hinchados estén más opaco será el cerramiento y viceversa. Esta propiedad, nos permitirá eliminar las lamas metálicas existentes en la cubierta del invernadero utilizadas para el control solar.



### 3. TRANSPORTE

En lo relativo al traslado de los materiales desde su lugar de origen de manufacturación hasta la localización de la obra, establecemos una comparativa entre el antes (ejecución 1991) y el después (intervención 2015).

Al haber seleccionado los nuevos materiales ya descritos, obtenemos dos notables mejoras en este aspecto:

En primer lugar, se registra una considerable reducción del consumo energético y huella de CO<sub>2</sub> en el transporte de los nuevos materiales con respecto a los anteriores. A continuación, se muestran estos valores:

	Energía (MJ)	Energía (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
TRANSPORTE EJECUCIÓN 1991	5,38 x10+5	7	3,82 x10+4	14
TRANSPORTE INTERVENCIÓN 2015	5,4 x10+5	4	3,8 x10+4	8

Vemos como los valores de energía y CO<sub>2</sub> no distan demasiado, pero prestamos especial atención en que los valores proporcionales (%) con respecto al consumo total disminuyen casi a la mitad.

En segundo lugar, los materiales seleccionados para la intervención se fabrican en lugares más próximos a la obra, todos dentro de España, y en su mayoría de la Comunidad de Madrid. De esta manera, el presupuesto de transporte se reduce.



### 4. ECOAUDIT

Con la ayuda del Software “CES EduPack 2015”, al igual que en el análisis previo, hemos vuelto a obtener los datos energéticos del ciclo de vida del edificio tras la intervención.

Como vemos en las gráficas, el consumo está dividido en los diferentes parámetros que afectan al ciclo de vida:

#### -MATERIALES:

En cuanto al consumo energético de las materias primas utilizadas, así como de su huella de CO<sub>2</sub>, observamos una disminución de alrededor de un 10% con respecto al proyecto original. Esto significa que la selección de los nuevos materiales es bastante favorable en cuanto a la sostenibilidad del edificio.

#### -MANUFACTURACIÓN:

De la misma forma, podemos ver claramente cómo estos materiales tienen un consumo casi nulo en su proceso de producción primaria y mucha menos producción de CO<sub>2</sub>, reduciéndose casi en un 15% los valores.

#### -TRANSPORTE:

Como ya se ha desarrollado en el apartado anterior, vemos la clara reducción de los valores energéticos del transporte, aproximadamente de un 5-10% con respecto al proyecto de ejecución de 1991.



#### -USO:

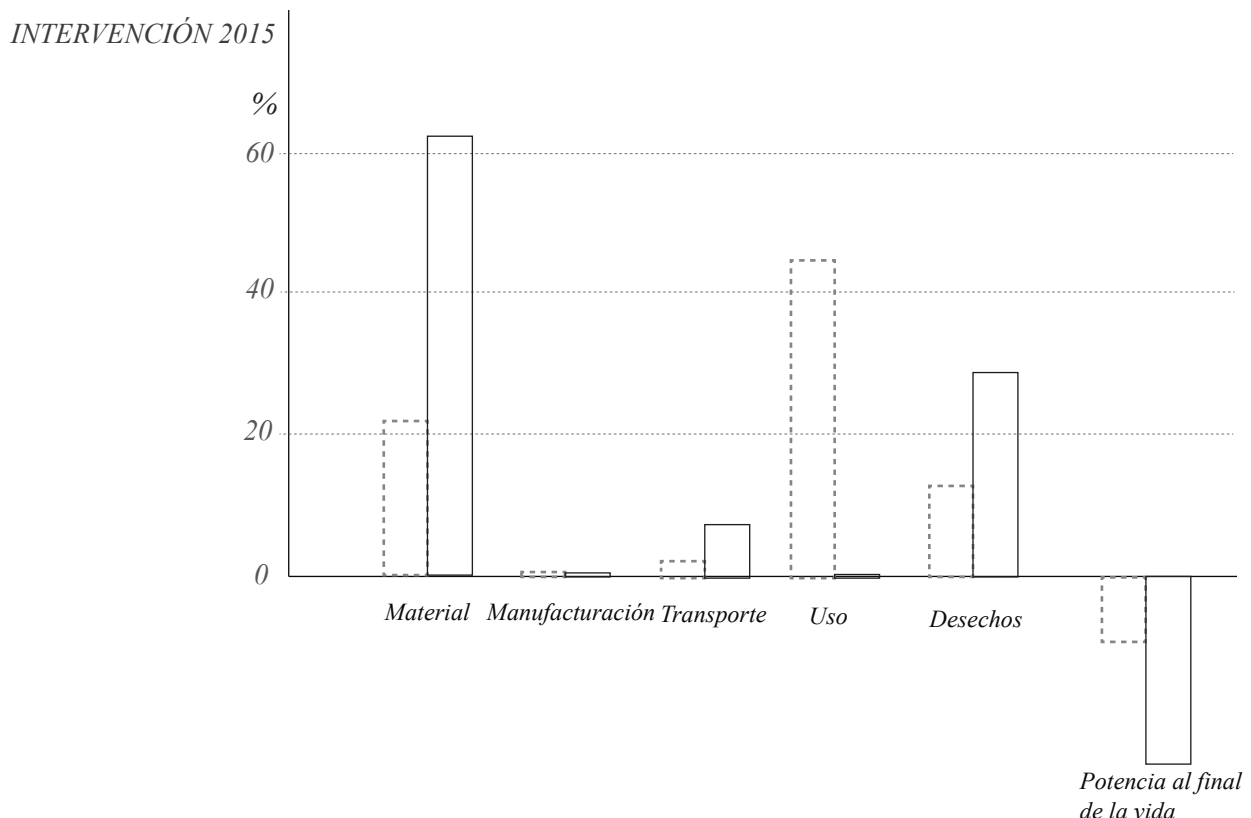
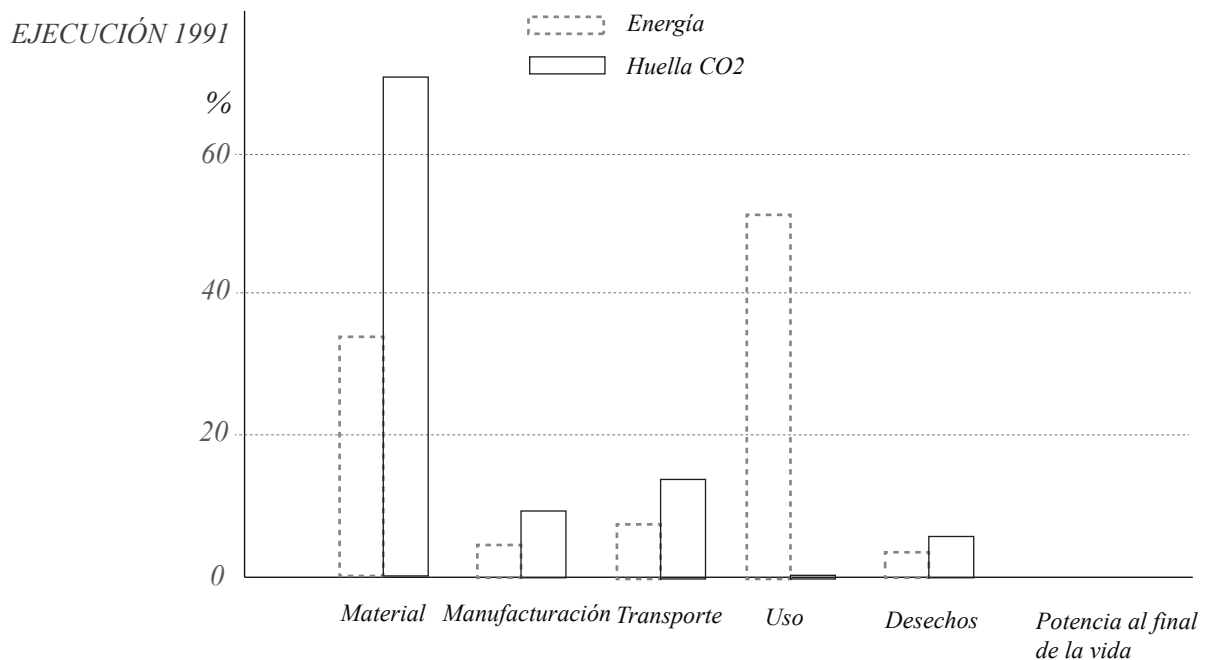
El gasto energético del edificio también se ve afectado con las modificaciones introducidas, ya que, a pesar que su funcionamiento interno se mantiene, con los nuevos materiales sostenibles se ve notablemente beneficiado. La energía en el uso se reduce en un 8% y su producción de CO2 se mantiene muy baja. Como decimos, esto se debe a que materiales como el Etfé tienen mucho control energético sobre el edificio y con lo cual nos permite prescindir parcialmente del uso de las instalaciones a pleno rendimiento.

#### -DESECHOS:

El aumento energético en este ámbito está referido a la re-utilización y reciclaje de los nuevos materiales en el final de su vida, lo que tiene un mayor gasto que el previo fin de vida en vertedero de los materiales empleados.

#### -FIN DE VIDA:

A diferencia del estado anterior, en el que con el fin de vida no obteníamos ni pérdidas ni ganancias energéticas, ahora conseguimos rebajar todos estos valores gracias a, como ya hemos dicho, el reciclaje y reutilización de materiales como Etfé y la madera. Así obtenemos unos considerables valores negativos que contrarrestarán los totales obtenidos.



5. PRESUPUESTO

Por último establecemos una comparativa entre los presupuestos del estado previo y tras la intervención. Para la obtención de estos presupuestos usamos como fuente el generador de precios CYPE y la base de datos de CES.

Estructura	PRECIO TOTAL DEL ACERO	→ (29428,72) + (11130,96) + (434,84) =	40994,52 €
	PRECIO TOTAL DEL HORMIGÓN	→ (76401,2) + (25781,84) =	102183,04 €
Envolvente	PRECIO TOTAL DEL VIDRIO	→ (40083,31) + (18263,7) + (10242,33) =	68589,34 €
	PRECIO TOTAL DEL ALUMINIO	→	19090,5 €

230857,4 €

PRESUPUESTO DEL PROYECTO REALIZADO EN 1991.  
Cálculo a través de la base de datos de CYPE

Estructura	Envolvente
17,76% del presupuesto en gastos de Acero	29,71% del presupuesto en gastos de Vidrio
44,26% del presupuesto en gastos de Hormigón	8,27% del presupuesto en gastos de Aluminio

Estructura	PRECIO TOTAL DE LA MADERA	(3912) + (1988,7) + (23087,19) =	28987,89 €
	PRECIO TOTAL DEL HORMIGÓN	→ (76401,2) + (25781,84) =	102183,04 €
	PRECIO TOTAL DEL ACERO	→ (3349,5) + (866,04) + (890,54) =	5106,08 €
Envolvente	PRECIO TOTAL DEL ETFE + ESTRUCTURA AUXILIAR DE ALUMINIO	→	34807,6 €

171084,61 €

PRESUPUESTO DEL PROYECTO DE INTERVENCIÓN PROPUESTO 2015.  
Cálculo a través de la base de datos de CYPE

Estructura	Envolvente
16,94 % del presupuesto en gastos de Madera	20,35 % del presupuesto en gastos de ETFE
59,73 % del presupuesto en gastos de Hormigón	
2,98 % del presupuesto en gastos de Acero	

Tenemos así, además de la considerable reducción energética y aumento de la sostenibilidad global del edificio, una reducción estimada del presupuesto total en un 26% con respecto al proyecto original.